

## 집적광학 센서의 개발 및 연구동향



강신원

경북대학교 센서기술연구소 교육지원센터장

### I. 서 론

집적광학이란 전자회로에서 박막층에 수많은 소자들을 만들어 전자를 조작하는 집적회로에서와 마찬가지로 '박막층에 아주 작은 광소자들을 만들어 빛(광자)을 조작하는 기술'을 말한다. 이러한 용어는 1969년 Stewart E. Miller[1]에 의해 처음으로 사용되었고 1970년 이후 광집적화의 노력은 집적광학을 학문의 한 분야로 자리잡게 하였다. 집적광학기술의 발전은 구조적 평면성으로 인하여 새로운 개념으로부터가 아니라 미세가공기술, 반도체 기판을 이용한 광전자공학 집적기술 등에 기초를 둔 평판형 기술과 기존의 재료 가공기술에 의한 혁신적인 설계와 제작 기술에 의존하여왔다. 그러므로 집적광학 기술을 소자의 측면보다 미세구조의 응용의 측면으로 언급하기도 한다. 이러한 집적광학은 소형화와 기계적 안정성, 높은 신뢰성의 장점을 가지고 광학적 부분의 부피로 실현될 수 없는 광학적 기능의 평면화와 집적화, 간소화를 추구하고 있다. 그러나 기초 재료와 제조기술의 부족은 집적광학 분야의 발달을 저하시키는 원인이 되고 있다.

집적광학의 응용분야는 아주 다양하지만 현재 활발히 연구되고 있는 주요분야를 보면 광스위치, 광파장

필터 등의 연구가 활발하게 진행되고 있는 광통신 분야를 비롯하여 광정보 처리분야와 광계측 분야 등이 있다. 광계측 분야, 특히 센서로의 응용은 광소자가 갖는 소형, 경량, 안전성 등의 특징에 고속, 고감도의 측정이 가능하며, 전파모드의 선택으로 목적 영역만의 광을 도파시킴으로써 종래의 광학측정법의 문제점이 되는 타영역으로부터의 광산란과 흡수 등의 영향을 최소화 할 수 있기 때문에 온도, 압력, 변위 등을 측정하는 물리센서를 비롯하여 가스, 이온, 생화학량의 성분분석, 면역분석 등의 화학센서로서의 연구가 진행되고 있다. 물론 광섬유의 경우도 집적광학 기술보다 앞선 기술을 바탕으로 이러한 센서의 구현이 가능하나 그 구조 자체가 매우 제한적인 반면에 집적광학형은 보다 유동적인 장점을 지니고 있다.

최근, 광계측 분야에서는 집적광학의 특징을 살린 새로운 광센서의 개발보다 지금까지 계속되어 불가능한 새로운 계측분야로의 응용으로 연구가 이루어지고 있다. 집적광학센서는 광회로형 센서와도파로형 센서로 나누어질 수 있다. 광회로형 센서란 센서의 광학계 및 신호 처리계를 1개의 기판에 집적하는 것으로 종래의 광학소자와 비교하여 아주 소형화, 경량화 및 안정화를 도모한 것으로 종래 센서와의 자리바꿈을 목표로 한 것이다. 한편, 도파로형 센서란 광도파로

자체에 물리량을 검출하도록 하는 것으로 광도파로가 아니고는 할 수 없는 검출기능을 가진 센서, 다시 말해 새로운 기능의 센서를 목표로 한 것임으로 장래에 이러한 센서를 복합화하면 전혀 다른 새로운 다기능형의 센서가 실현 가능하리라 본다.

본고에서는 이러한 집적광학의 기본원리와 재료 등을 설명하고 이를 바탕으로 한 소자의 구조, 분류 및 응용에 대한 전반적인 내용을 다루고자 한다. 아울러 이들 센서의 개발현황과 활용방안을 살펴보고 향후 광도파로 센서 개발에 따른 발전방향을 도출하고자 한다.

## II. 광전송의 기본원리와 광결합

### 1. 광전송의 기본원리

집적광학에서 사용되는 소자의 기본구조는 박막 광도파로이다. 도파로를 통한 광의 전파에 대한 기본원리는 다음과 같다. 한 매질에서 다른 매질로 전파하는 광은 속도와 방향이 모두 바뀐다. 이러한 변화는 두 매질의 굴절률에 의해서 정량화 될 수 있다. 굴절률이란 진공에서의 광의 속도를 매질에서의 광의 속도로 나눈 값을 말한다. 예를 들면 공기는 1.00, 물은 1.33, 유리는 1.48정도이다. 빛이 다른 매질로 입사할 때 매질에서의 광의 각은 스넬의 법칙(Snell's Law)을 따른다. 가령  $n_1$ 의 굴절률을 가지는 매질에서  $n_2$ 굴절률을 가지는 매질로 광이 입사될 때 스넬의 법칙에 의하면  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ 의 성질을 가진다. 여기서  $\theta_1$ 은 입사각이고  $\theta_2$ 는 입사된 매질에서의 굴절각이다. 이 때 입사된 광의 일부는 다른 매질로 굴절되어 투과되고 나머지 일부는 이 각과 같은 크기의 반사각을 갖고 반사된다.

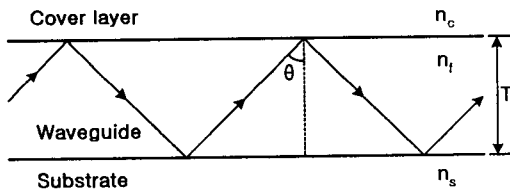


그림 1. 평면 도파로의 구조

- ⊙ 광전송을 위한 조건 :  $n_i > n_s > n_c$
- ⊙ 내부전반사를 위한 조건 :  $\theta_c > \theta > \theta_s$   
 $\theta_c = \sin^{-1}(n_c/n_i)$ ,  $\theta_s = \sin^{-1}(n_s/n_i)$

그림 1과 같이 평면도파로가 형성되었을 때에도 경

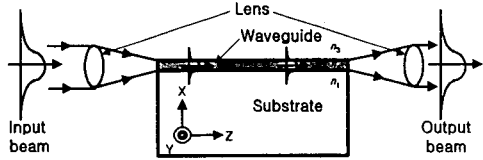
계면에서 위와 같은 스넬의 법칙이 성립되며 입사각이 임계각 이상으로 커지면 광은 투과되지 못하고 전부 반사되는 현상이 나타난다. 이러한 현상을 내부전반사라고 하며 박막 양면에 광의 전반사 현상을 이용하면 박막 도파로가 된다. 따라서 광전송을 위해서는 일정 두께 이상의 도파로를 가지고 있어야 하며 이러한 도파로의 굴절률은 주위의 굴절률보다 높아야 한다. 또한 효과적인 광전송을 위해서는 두 경계면에서 전반사가 있기 위한 임계각을 만족해야 한다. 이러한 조건에서 광이 도파로의 내부전반사를 통하여 전송되지만 실제로는 전반사가 일어나는 매질의 경계면 반대쪽에 소멸되는 정재파가 존재하는데 이를 소산파(Evanescent wave)라고 하며 박막도파로의 경우 소산장(Evanescent field)을 형성한다.

대부분의 경우 이러한 소산파는 무시되지만 집적광학 소자의 센서 적용시에는 매우 중요한 원리가 된다.

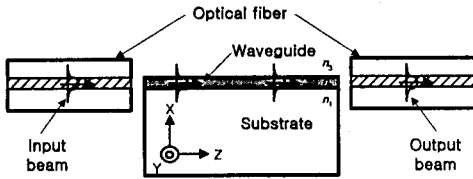
### 2. 광결합

집적광학에서 도파로에 광을 입출력시키는 결합기는 기본적으로 필요하다. 결합기의 종류로는 end-fire 결합기, end-butt 결합기, 프리즘 결합기, 회절격자 결합기 등이 있으며 그림 2에 나타내었다[2]. end-fire결합은 렌즈로 도파로 모서리에 초점을 맞추어 결합시키는 방법으로 간단한 것이 장점이다. 그러나 도파로 모서리를 연마해야하고 결합효율이 비교적 낮은 단점이 있다. end-butt 결합은 광원 바로 앞에 도파로 모서리를 맞대는 방법으로 결합효율은 높지만 놓는 위치에 따라 매우 민감한 단점이 있어서 미세조정이 가능한 마이크로미터를 사용해야 허용오차 안에서 결합이 가능하다. 프리즘 결합은 결합 효율이 높아서 집적광학 연구의 초창기에 쓰이던 방법이다. 평면도파로의 경우 위치를 정밀하게 찾을 필요가 없으며 모서리에 결합시키는 것이 아니라 도파로 윗면으로 결합시킴으로 도파로 모서리를 연마할 필요가 없다. 프리즘 결합은 고굴절프리즘을 이용하여 입사파와 도파모드간의 위상정합을 시켜 도파광을 여진하는 것이므로 그림 3(c)와 같이 광의 입출력 결합이 가능한 방법이다. 또한 이 방법은 출력단에 다른 하나의 프리즘결합기를 놓으면 역으로 프리즘으로 출력결합시킬 수 있다. 출력결합된 광을 스크린에 비추면 밝은 모드선을 얻을 수 있으며 모드선 검사법은 도파로의 모드수와 전파정수 등을 알 수 있으므로 도파로의 특성을 측정하는 중요한 방법이 된다. 회절격자 결합은 도파로의 표면에 평행한 일정주기 격자에 의해 그림 2(d)에 보인 바와 같이 제작된다. 회

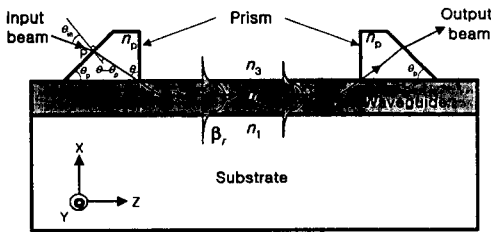
절격자결합기는 격자에 광을 입사 시켜 도파로 내부에서의 도파모드의 파장과 격자주기가 위상정합조건을 만족시킬 때 도파로 내부로 결합되어 도파모드를 형성함으로써 광결합을 가능하게 한다. 이러한 결합기의 원리는 집적광학에서 광결합의 목적외에도 화학, 바이오 센서제작시 기본원리가 된다. 이를 본고의 이온센서 응용에서 소개하였다.



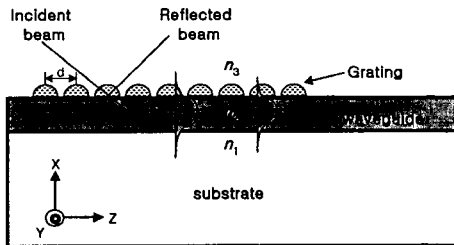
(a) End-fire 결합기



(b) End-butt 결합기



(c) Prism 결합기



(d) Grating 결합기

그림 2. 입출력 결합기의 종류

### III. 평면도파로의 분류 및 구조

#### 1. 평면도파로의 분류

평면도파로의 단면 형태에 따른 분류는 그림 3과 같다. (a)의 경우는 공기를 상부 클래딩 층으로 사용하며 (b)는 채널위의 클래딩을 다른 물질로 형성시킨다. 이러한 형태의 도파로는 계단형 굴절률(Step index waveguide) 분포를 가지며 이는 반도체공정의 사진 식각공정등을 이용하여 형성이 가능하다. 반면에 (c)와 (d)의 구조는 물질의 확산이나 이온 교환법등에 의하여 형성되며 이러한 구조는 언덕형 굴절률(Graded index waveguide) 분포를 가진다.

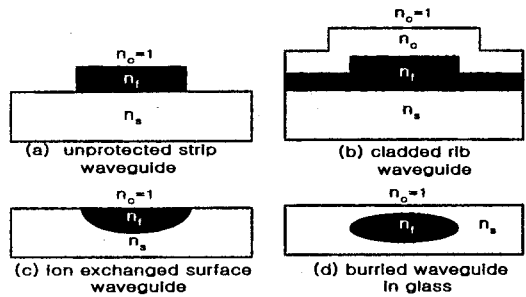


그림 3. 평면도파로의 단면 형태에 따른 분류

#### 2. 평면도파로의 구조

평면 도파로의 전형적인 소자형태는 그림 4와 같다. 평면도파로는 동작 형태에 따라 수동형 소자와 능동형 소자로 나뉜다.

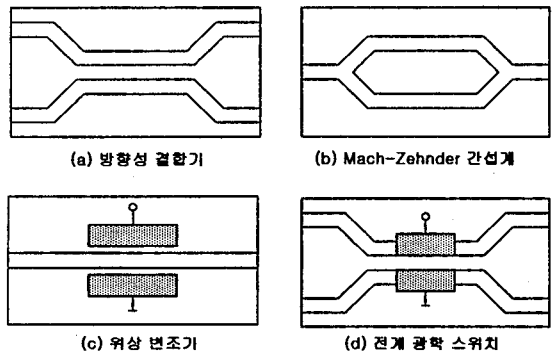


그림 4. 전형적인 광도파로 구조

(a)와 (b)는 수동형 소자를 나타내고 (c)와 (d)는 능동형소자를 나타낸다. (a)는 방향성 결합기로 입력광을 하나의 단자에 주었을 때 평행한 두 도파로 사이에서 광결합이 일어나 출력측의 광세기가 달라지는 원리를 가지고 있다. 이는 결합되는 도파로의 길이와 폭에 대한 의존성이 있다. (b)는 입력광이 Y형태의 분기점에서 두 평행한 도파로로 나뉘어 전송되다가 다시 만나는 형태를 가지고 있다. 이 때 평행한 두 도파로 사이에 길이나 폭의 차이가 있을 경우 출력측에 만나는 광사이의 간섭현상이 생기게 된다. 이러한 구조는 여러 가지 형태의 능동형 소자로의 응용이 가능하다. 능동형 결합기의 구조는 외부에서 전계나 음향광학 효과등을 주었을 때 도파로의 굴절을 변화를 일으키는 기본적인 원리를 가지고 있다. 이러한 대표적인 효과는 전계광학 효과, 음향광학 효과, 자계광학 효과, 열광학 효과등이 있으며 (c)와 (d)에서 이러한 구조를 나타내고 있다. (c)에서는  $\text{LiNbO}_3$  도파로에서 주로 많이 사용하는 구조로서 기판위에 형성된 두 개의 금속 전극에 전압을 가하면 이에 따른 위상의 변화가 생기게 된다. 이러한 위상의 변화는 가해진 전압과 전극의 형태에 의존한다. (d)의 구조는 전계광학효과를 (a)번의 방향성 결합기에 형성한 구조이다.

#### IV. 집적광학 소자의 재료

##### 1. $\text{LiNbO}_3$

광학소자를 능동형으로 사용하기 위하여 폭넓게 사용되는 물질은  $\text{LiNbO}_3$ 이다[3, 4]. 전기광학 집적소자들은 전기장에 의하여 물질의 굴절률을 변화시키는 전기광학효과를 이용하는 소자들이므로 효율적인 광 집적소자들을 제작하기 위해서는 큰 전기광학효과를 가지고 있는 재료들을 이용하는 것이 바람직하다.  $\text{LiNbO}_3$ 는 계열의 다른 ferroelectric 물질에 비해 상대적으로 작은 전기광학 계수들을 가지고 있음에도 불구하고 매우 활발하게 연구되어왔고 현재에도 가장 널리 이용되고 있다. 그 이유는 strain이 없으며 결정결합이 없는 좋은 품질의 단결정을 쉽게 얻을 수 있으며 1 $\mu\text{m}$  이상의 광파장영역에서도 전하이동이나 광전도도가 매우 작기 때문이다. 또한 여기에 Ti 확산 방법 또는 양자교환 방법등을 이용할 경우에는 저 손실 단일모드 광도파로를 쉽게 제작하여 광변조기, 편광기 및 전계측정용 센서등에 응용되고 있다. 그러나 이러한 장점화에도 불구하고  $\text{LiNbO}_3$ 는 공정이 까다롭고 집적화 및 소형화의 특성이 용이하지 못한

단점이 있다.

#### 2. 유기, 무기 재료

##### (1) 무기재료

무기재료를 집적광학 기판으로 사용할 경우에는 적은 가격으로 집적광학 소자를 구현할 수 있다. 이러한 재료의 대표적인 예는 glass가 있으며 도파로 형성과정 또한 용이하다. 유리를 이용한 도파로는 손실이 적고 제작이 간단한 장점을 지니고 있고 특히 1 $\mu\text{m}$ 정도의 파장 영역에서는 손실이 매우 적다는 이점이 있다. 또한 손실을 줄이거나 특성의 변화를 위해 이온교환의 방법을 이용할 수도 있다. 그러나 수동 소자의 제작만이 가능하므로 그 응용이 제한된다.

##### (2) 유기 고분자

유기 고분자 재료로 가장 많이 사용되는 물질은 Polymethylmetacrylate(PMMA)이다. 이는 가공이 용이하고 단단하다는 점이 장점이다. PMMA는 UV의 노출 없이도 고정이 가능하다. 전형적인 PMMA도파로의 손실은 0.5dB/cm이다. 하지만 PMMA는 허용온도가 100 $^{\circ}\text{C}$ 이하로서 온도에 따른 사용한계가 있다는 점이 큰 단점이다.

#### 3. 반도체 재료

집적광학용 반도체 재료로서는 현재 실리콘과 III-V족 화합물을 들 수 있다. 반도체 재료는 단일 기판위에 모든 광소자들을 제작하고 고집적화를 성취할 수 있는 장점을 가진다. 실리콘은 반도체 산업의 주재료로 제작공정이 잘 확립되어 있고 고순도 단결정재료가 이미 싼 가격으로 상용화되어 있다. 실리콘 재료는 레이저 다이오드와 같은 광원은 만들 수 없지만 광검출기를 제작할 수 있어 광신호를 전기신호로 변환한 후 기존 집적회로의 전기신호 처리기술을 집적 사용할 수 있는 장점이 있다. GaAs나 InP 등의 반도체를 이용한 광도파로는 전기광학 효과가 강유전체에 비하여 작으나 하나의 기판위에 레이저 다이오드나 광검출기를 함께 제작할 수 있는 장점 때문에 많은 관심이 기울여지고 있다. 최근에는 실리콘 기판위에 GaAs결정층을 성장시키는 기술이 성숙되어 기존 집적회로와 광전집적회로를 한기판위에 제작하는 기술도 활발히 연구되고 있다.

#### V. 집적광학 센서의 응용 예

광집적소자를 이용한 센서의 응용 예는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 그 하나는 계측되어지는 양의 물성에 따라 물리 센서와 화학센서로, 또 다른 방법은 계측 시스템의 구조에 따라 광섬유형과 평판형으로 구분할 수 있다. 본문에서는 대표적인 물리센서 및 화학·바이오센서의 예를 소개하고자 한다.

- 1. 물리센서
- 1) 압력센서

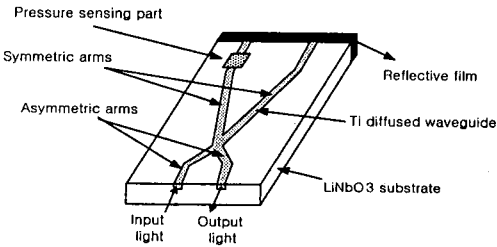


그림 5. 비대칭형 X-branch 도파로 간섭계형 압력 센서

그림에서와 같이 LiNbO<sub>3</sub> 기판에 Ti 확산된 비대칭적인 X-branch형 도파로를 형성하고 X-branch형 도파로의 한쪽 부분에 압력변화를 센싱하는 부분을 둔다. hybride coupler를 통해 분리된 입사광이 도파로의 끝단에 있는 반사필름에 의해 반사된다. 압력의 변화에 따라 두 개의 광이 간섭되어 출력광의 강도가 변한다. 이 강도변화를 측정하면 압력변화를 측정할 수 있다[5].

- 2) 간섭계형 변위센서

LiNbO<sub>3</sub> 도파로에 마이켈슨 간섭계를 구성하고, 그 신호광 암에 대응하는 도파로의 출사광을 렌즈를 통해 이동 물체에 조사한다. 이 반사광을 다시 도파로에 넣어 참조 도파로와 간섭시키면 물체의 이동량에 따라 출력광 강도가 주기적으로 변한다. 이 주기 변화의 횟수를 카운트하면 변위를 측정할 수 있다. 이것은 가장 기본적인 구성이지만, 그림 6에서와 같이 렌즈와 같은 집광기능을 가지는 회절격자소자를 집적화한 위치센서도 보고되고 있다. 이것은 광집적 디스크 픽업 디바이스의 기술을 응용한 것으로, 전광 집적 변위센서라고 한다[6].

- 3) 온도센서

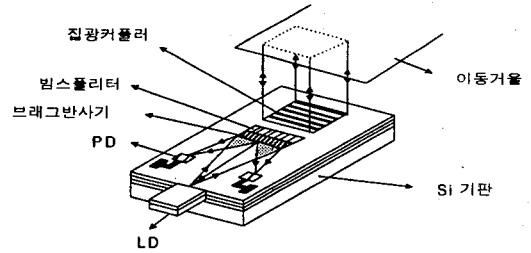


그림 6. 회절격자 구성에 의한 간섭형 광집적 변위 센서

그림 7은 LinbO<sub>3</sub> 기판에 경로 길이가 다른 두 개의 암(arm)을 가지는 Ti가 확산된 Mach-Zehnder 간섭계형 도파로를 구성한 광도파로형 온도센서이다.

온도변화에 따라 두 암 사이의 광경로  $\Delta L$ 의 길이가 변화하게되면 출력광의 강도는 두 암사이의 위상차이로 나타난다. 간섭계 A, B 와 C는 다른 길이와 구조를 가지고 있으며, 온도에 따른 해상도와 감지 온도범위가 각각 다르게 구성되어 있다[7].

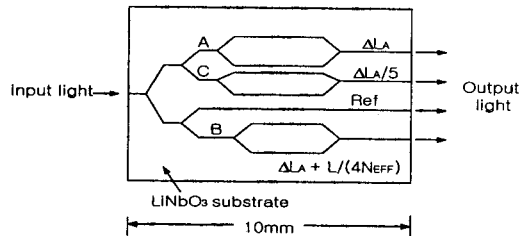


그림 7. 집적광도파로형 온도센서

- 2. 집적광학형 화학/바이오센서

화학/바이오센서는 어떤 종류의 물질이, 어느 정도, 어떠한 구조로, 어떠한 환경에서 존재하고 있는가 등의 정보를 출력하는 디바이스로 정의된다. 따라서 집적광학형 화학/바이오센서는 기본적으로 광파물질의 상호작용을 이용하는 센서로서 분광학이 중심적 역할을 하고있다. 그림 8은 분광분석에 의한 측정계를 모식적으로 나타낸 것이다. 광파물질의 상호작용으로는 발광, 흡광, 반사, 형·인광, 산란, 시광 등이며 대상파장 범위는 원적외선에서 자외선 영역이다. 시료물질로부터의 출력광에 실려들어 오는 정보로는 파장과 농도의 함수로서 진폭, 강도, 위상, 편광

면의 변화 등이 있으나 실용분석에 대해서는 광강도를 이용하는 것이 대부분이다. 이 광강도 스펙트럼에 광정보량을 부가하기 위해 시간에 대한 강도변화를 검출하는 방법도 효과가 있다. 또한 물질정보의 선택성 향상을 위해 시료부에 시약을 첨가하여 광, 전기, 열에너지를 주입한 후 스펙트럼의 시간변화를 관측하는 과도적 현상을 이용하는 방법도 있다.

이 글에서는 집적광학형 화학/바이오 센서 중에서 가스센서, 이온센서, SPR형 바이오센서의 그 동작원리, 기본구성 등에 대해 설명하고자 한다.

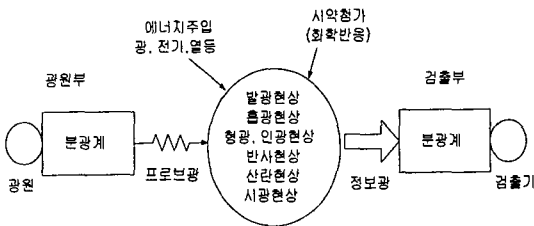


그림 8. 광에 의한 물질검출 시스템

### 1) 가스센서

광섬유를 이용한 가스센서는 광섬유 프로브단에 간섭계를 제작하여 간섭계 속의 셀에 가스가 주입되면 굴절율이 변화하고, 광로차가 발생하여 간섭광의 강도변화를 측정하여 가스의 농도를 검출하는 간섭계형

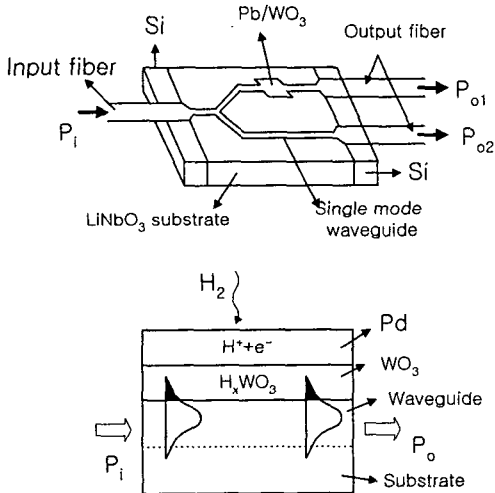
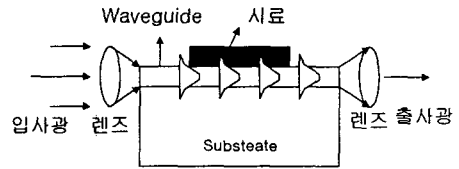


그림 9. 소산파 흡수를 이용한 수소검출용 광도파로 센서

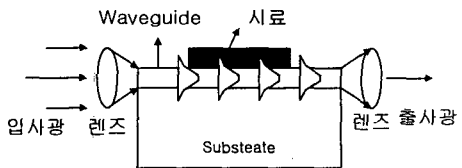
가스센서, 그리고 광섬유 자체를 이용하여 광섬유 내를 운반하는 광파와 관측가스와의 소산파 결합을 이용한 센서가 연구되고 있으나 아직 실용화 단계에 있지는 않다. 이러한 흡광현상을 이용한 광섬유형 가스센서는 선택성, 응답속도, 낮은 감도 등의 문제로 아직 실용화 단계에 있지 못하다. 반면 평면도파로형 센서는 종래의 광학적 센서의 단점을 극복할 수 있는 센서로 활발한 연구가 진행되고 있다. 그림 9는 광도파로 표면에  $WO_3$ 층을 형성하고 Pb층을 증착시킨 수소가스센서이다. 이는 최상층의 Pb막이  $H_2$ 와 접촉하면 수소가 해리하여  $WO_3$ 에 확산된다.  $WO_3$  결정은  $Li^+$ ,  $K^+$ ,  $H^+$  등이 삽입되는 site가 있어 이러한 것이 확산된  $H^+$ 은  $WO_3$ 의 결정격자내에 삽입되어  $WO_3$ 의 이용  $WO_3$ 층의 흡광변화를 얻는다.

이 센서는 고감도의 수소가스센서로서 실용되고 있다[8].

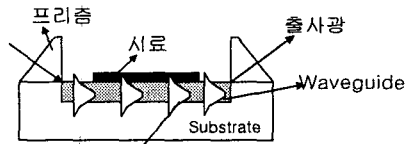
### 2) 이온센서



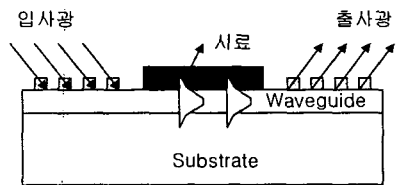
(a) 프리즘결합법



(a) 프리즘결합법



(c) butt 결합법



(d) 격자결합법

그림 10. 집적광학형 이온센서의 기본구조

광섬유를 이용한 이온센서는 전기화학적 센서와 비교해 볼 때 전기적 안정성 및 참조전극이 필요없는 특징을 가지므로 분석화학, 생체측정 등을 중심으로 많은 관심을 끌며 빠르게 진행되고 있다. 그러나 이러한 광섬유형센서는 실제적인 응용에 있어서 주위환경의 영향이 크며, 적은 미량의 이온을 감지할 경우 감응면적이 작으므로 인해 낮은 감도를 가진다. 반면 평면도파로형 센서는 이온 감응막 자체를 도파로로 이용하므로 고감도, 빠른 응답속도를 가진다.

그림 10은 소산파 흡수를 이용한 평면도파로형 이온센서의 기본구조이다[9]. 유리기판 위에 박막광도파로를 형성하고 박막층내로 광을 도파시키면, 도파광은 분석 시료 내에 소산파의 형성으로 그 에너지가 흡수·감쇠되어 도파로내에 전파된다. 분석시료의 농도변화에 따라 소산파의 에너지의 흡수변화로 출사되는 광의 흡광변화를 얻는다. 이온감응성물질만을 그 필요성에 따라 교환함으로써 다른 이온의 정밀측정이 가능하며, 집적광학기술을 이용한 소형화를 통해 고감도, 고정도의 특성을 갖는 이온센서, 바이오센서의 개발 및 응용이 기대된다.

### 3) SPR형 화학/바이오센서

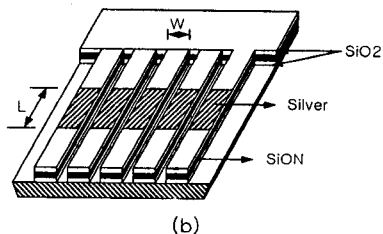
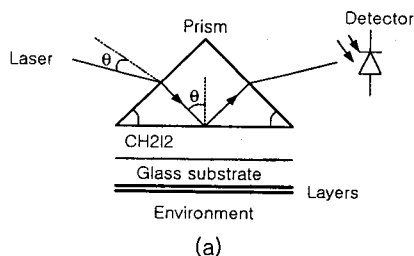


그림 11. SPR형 센서의 개략도  
(a) SPR의 기본원리  
(b) 집적형 SPR 센서 어레이

SPR형 센서는 입사된 레이저광에 의해 여기된 플

라즈몬파와 소산파(Evanescent wave)가 임의의 각에서 공명되어 반사도가 급격히 감소되는 현상(공명각)을 이용하므로 감지부에서 발생하는 생체물질간의 결합 및 분리 과정을 실시간에 직접 관측할 수 있는 특징을 가진다. 또 이 공명각은 센서칩 표면의 질량 변화 등에 따른 유전율 변화에만 기인하므로, pM(picomol)수준의 저농도 시료까지도 감지할 수 있는 높은 감도를 가진다[10, 11].

## VI. 집적광학 센서의 장래전망과 향후과제

현재 집적광학 센서는 각종 생산기술 분야에서 사용되고 있으나 이를 중심으로한 학문 기술분야가 형성되기 시작한 것은 극히 최근의 일이다. 집적광학 센서는 집적광학기술 자체의 문제뿐만 아니라 센서라는 특성, 즉 센서기술이 다양한 기초과학을 뿌리로 하고 여러 응용과학 및 기술을 기초로 하여 형성되는 다학문 복합기술이라는 점때문에 관련학문 및 기술의 융합과 집적이 체계적으로 이루어지는 데는 필연적으로 긴 시간이 요구된 것으로 생각된다. 집적광학 센서는 광소자가 갖는 소형, 경량, 안전성 등의 특징에 고속, 고감도의 측정이 가능하며, 전파모드의 선택으로 목적 영역만의 광을 도파시킴으로써 타영역으로부터의 광산란과 흡수 등의 영향을 최소화 할 수 있기 때문에 앞의로의 연구가능성과 발전성은 무한하다.

현재 집적광학소자의 연구는 많이 확산되어 여러 대학과 연구소, 산업체에서 이루어지고 있으나 센서로의 적용은 경북대학교의 센서기술연구소, 서울대, 한국과학기술원의 전자공학과 등 일부의 대학에서만 연구되고 있다. 광도파로형 센서는 각 분야로부터 근년 주목을 한꺼번에 받아 지금까지 없었던 새로운 센서출현의 기대를 넘어설 정도로 많은 연구 발표되었다. 그 중에서 물리량 센서에 대한 연구가 활발하다. 이는 기존에 요구되는 센서들의 대부분이 물리 센서이고 또한 전기적 신호로 동작하는 센서들을 광학식으로 전환하고자 하는데서 원인을 찾을 수 있다. 반면 광도파로형 화학/바이오 센서는 추후 실용센서로서의 개발할 여지가 많으며 광 집적회로 등 미소광학기술과의 접목 또는 이용으로 보다 소형, 경량, 대량생산화되어 가까운 장래 실용화 될 것으로 예상된다. 또한 비선형광학 물질과 동시에 각종 chromism을 이용한 광집적화 센서의 개발 및 응용이 기대된다.

일반적으로 집적광학 기술의 문제점은 제조기술과 기초재료 기술로 지적된다. 특히 재료 기술에서는 본고에서도 언급하였듯이 각각의 재료들의 장단점을

어느정도 절충한 재료가 절실히 요구된다. 하지만 더욱더 문제는 이러한 두가지 기술의 접목이다. 특히 센서 기술에서는 센서라는 특성상 이 문제가 크게 부각된다. 앞으로 상호보완적인 연구와 연계성있는 연구가 이루어 질때 소위 말하는 전광시대가 시작되리라 본다.

### 참 고 문 헌

1. S. E. Miller, "Integrated optics : an introduction", Bell system Tech. J. 48, 2059-2069, 1969.
2. T. Tamir, "Integrated Optics", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 83-134, 1979.
3. M. F. Grant et al. "Recent progress in lithium niobate integrated optics technology", Opt. Eng. 27, 2-9, 1988.
4. L. Castelli, "Lithium niobate's role in integrated optics", Lightwave, April, 1986.
5. Izutsu, M., A. Enokihara, N. Mekada, T. Sueta. Optical-waveguide pressure sensor, 2nd European Conf. Integrated Opt, Tech. Dig, p. 144, Firenze, Italy, Oct, 1983.
6. Ura, S, t. Sahara, H. Nishihara, J. Koyama. An integrated-optic disk pickup device, IEEE J. Lightwave Tech, LT-4, (7), 913-918, July, 1986.
7. Johnson, L. M, F. J. Leonberger, G. W. Pratt, Jr. Integrated Optical temperature sensor, Appl. Phys. Lett, 41(2) : 134, 1982.
8. Klaus G. Grosskopf, "Integrated optics for sensors", SPIE Vol. 1011 Fiber Optic Sensors III, 38~45, 1998.
9. Shin-Won Kang, Keisuke Sasaki, and Haruyuki Minamitani, "Sensitivity analysis of a thin-film optical waveguide biochemical sensor using evanescent field absorption", Applied Optics, Vol. 32, No. 19, 1993.
10. Paul V. Lambeck, "Integrated opto-chemical sensors", Sensors and Actuators B, 8, 103~116, 1992.
11. 엄년식, 고광락, 함성호, 김재호, 이승하, 강신원, "살모넬라와 면역글로블린(hIgG)의 항원-항체반응 감지를 위한 표면 플라즈몬 공명형 센서시스템의 특성", 센서학회지, 7권, 4호, 263~270, 1998.